

CARA KERJA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ANGIN

Halimatus Sa'diyah¹, Sudarti², Yushardi³

diyahalimatus14@gmail.com¹, sudarti.fkip@unej.ac.id², yushardi.fkip@unej.ac.id³

Universitas Jember

Abstract

Several aspects related to wind power generation are discussed in this paper, including estimation of its production, reduction of environmental pollution, evaluation of wind power resources, differences in maps and operating wind turbines, structural constraints on solar collectors, operation of virtual power plants, selection of sites for its operation, and optimization of wind-powered photovoltaic storage energy utilization. In addition, it involves the analysis of operational data from battery energy storage systems supporting wind power plants in Brazil, evaluation of the suitability of wind power plant sites in Ethiopia, control of offshore wind turbines, and geospatial analysis of wind power plants in Saudi Arabia. It also covers the prediction of wind power generation in Northern Norway and wind-powered project development in Thailand. Furthermore, the review also examines model development and control systems for wind power plants, emergency and oscillation control systems for wind power plants, and technical-economic evaluation of utility-scale wind power plants in Ghana. Recent research has also explored wind energy prediction in China, with stability of offshore wind power generation systems, monitoring of wind power generation systems, optimization of wind power generation system control, and evaluation of wind resources and wind turbines for urban areas. In particular, this article discusses research aimed at optimal siting of various wind power plant installations by applying spatial modeling and integer programming in Konya province, which recommends 65 wind turbines as the best option considering cost.

Keywords : Wind, Power Generation, Technology, And Physics Learning.

PENDAHULUAN

Pembangkit Listrik Tenaga Angin (PLTA) telah menjadi salah satu sumber energi terbarukan yang semakin populer dalam rangka mengurangi ketergantungan pada sumber energi fosil yang tidak ramah lingkungan. PLTA memanfaatkan energi kinetik angin untuk menghasilkan listrik, dan salah satu faktor yang mempengaruhi kinerja PLTA adalah kecepatan angin (Kinasih, 2024). Transformasi menjadi energi listrik dilakukan dengan cara mengubah energi angin menjadi putaran mekanis mesin dan kemudian memutar suatu alat yang diperlukan pemanfaatannya. Siklus perubahan ini disebut transformasi energi angin, sedangkan peralatan untuk mengubahnya menjadi energi disebut kincir angin atau turbin angin. (Amin dan Kaloko, 2024).

Energi angin diubah menjadi listrik melalui penggunaan generator. Generator merupakan suatu alat yang memiliki kemampuan untuk mengonversi energi mekanik menjadi bentuk energi listrik. Energi mekanik ini kemudian menggerakkan generator sehingga menghasilkan arus listrik sebagai hasil akhir. Saat rotor berputar, generator secara otomatis menghasilkan aliran energi listrik (Ghazali dan Stefanie, 2024).

Pemanfaatan energi angin ini dapat mengurangi pemakaian bahan bakar minyak dalam hal penerangan perahu nelayan pada malam hari. Mahalnya harga minyak dan kebutuhan hidup keseharian meningkat, sebaiknya pemanfaatan energi bayu lebih dikembangkan. Penggunaan energi tersebut mengurangi adanya polusi yang disebabkan penggunaan bahan bakar pada minyak menjadi polusi terbesar yang ada di dunia menjadi sebuah gas buangan dan emisi dalam bahan bakar minyak yang untuk mengatasi berbagai permasalahan menjadi energi angin sebagai alternatif

mempunyai ketersediaan di bumi menjadi harapan dan kelanjutannya (Hasibuan et al., 2021).

Kecepatan angin di Indonesia terbilang lumayan rendah tapi itu bukanlah hambatan untuk menghasilkan potensi energi yang mana akan diubah melalui mekanik perubahan energi menjadi energi listrik. Maka dibutuhkan sebuah generator untuk menyeimbangi dari kecepatan angin tersebut. Pembangkit energi listrik tenaga angin dengan kecepatan rendah secara garis besar mempunyai fungsi dan cara kerja yang sama dengan pembangkit energi listrik tenaga angin lainnya. Dari kecepatan angin tersebut kita dapat mengubahnya menjadi energi listrik seperti terdapat pada kincir angin (Bektiarso et al., 2023).

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode penelitian literature review. Literature review merupakan istilah yang digunakan untuk merujuk pada metodologi penelitian atau riset tertentu dan pengembangan yang dilakukan untuk mengumpulkan serta mengevaluasi penelitian yang terkait pada fokus topik tertentu (Triandini, dkk, 2019). Literature review yang digunakan dalam penelitian ini memperoleh 30 jurnal penelitian yaitu jurnal penelitian internasional, setelah melalui beberapa tahapan kemudian peneliti bersama dengan dosen pembimbing menentukan variabel bebas maupun variabel terikat melalui jurnal penelitian terdahulu.

Berdasarkan hasil penelusuran jurnal di google scholar dengan kata kunci Pembangkit Listrik Tenaga Angin, cara kerja Pembangkit Listrik Tenaga Angin, Pembangkit Listrik Tenaga Bayu, PLTB, dan PLTA dalam bahasa Inggris yaitu How Wind Power Based Power Plants Work karena sasaran jurnal yakni berupa jurnal internasional, peneliti menemukan 30 jurnal pada google scholar sesuai dengan kata kunci tersebut dengan rentang waktu tahun 2020-2024. Jurnal-jurnal internasional yang ditemukan pada google scholar tersebut terdiri dari 2 jurnal internasional yang terbit pada tahun 2020, 2 jurnal internasional yang terbit pada tahun 2021, 4 jurnal internasional yang terbit pada tahun 2022, 12 jurnal internasional yang terbit pada tahun 2023, dan 10 jurnal internasional yang terbit pada tahun 2024. Namun, jurnal-jurnal tersebut ditinjau kembali untuk dipilih hanya beberapa jurnal saja sebagai bahan review, yakni hanya 20 jurnal yang dipilih.

Tabel 1. Jurnal Terpilih

| Author | Result |
|--------------------------------|---|
| Famoso F. <i>et al.</i> , 2024 | <p>Latar Belakang: Pendekatan baru memprediksi produksi jangka pendek dari ladang angin dengan menggabungkan Jaringan Syaraf Tiruan (JST) dan model stokastik. Studi kasus menunjukkan peningkatan estimasi produksi energi angin sebesar 480%.</p> <p>Metode: model yang diusulkan mengintegrasikan dua algoritma yang berbeda: modul berbasis data, yang terstruktur dalam tiga tahap, dan modul ketergantungan yang menggunakan pemodelan stokastik untuk menilai keandalan dan ketersediaan pembangkit listrik tenaga bayu (PLTB). Pendekatan ini dirancang untuk efisiensi dalam penggunaan data, dengan mengandalkan prakiraan kecepatan dan arah angin yang tersedia dan berfokus pada data dari 'turbin pusat' yang dipilih, bukan pada keseluruhan array. Pengumpulan data yang ditargetkan ini mengurangi volume data input yang diperlukan, sehingga meningkatkan efisiensi komputasi.</p> <p>Hasil: Menggabungkan algoritma pengelompokan data tunggal dengan model yang dapat diandalkan untuk estimasi produksi jangka panjang dalam model wake analitis. Pendekatan ini</p> |

| | |
|------------------------------|---|
| | <p>memperkenalkan aspek baru yang memajukan bidang studi ini, termasuk penggunaan data yang efisien melalui turbin centroid. Pendekatan ini menawarkan solusi praktis untuk manajemen data di ladang angin besar.</p> <p>Kesimpulan: Penelitian ini menyempurnakan pendekatan untuk memprediksi produksi tenaga angin dengan mengintegrasikan jaringan syaraf dan model ketergantungan. Penelitian selanjutnya akan berfokus pada pengoptimalan model dan integrasi teknik prakiraan cuaca untuk meningkatkan akurasi prediksi energi terbarukan.</p> |
| Gao H. <i>et al.</i> , 2024 | <p>Pembangkit listrik virtual (VPP) telah menjadi sarana teknologi yang penting bagi sumber daya energi terdistribusi berskala besar untuk berpartisipasi dalam pengoperasian sistem tenaga listrik dan pasar listrik. Namun, pengoperasian VPP ditantang oleh karakteristik sumber daya yang bersifat stokastik, fitur kontrol yang kompleks, struktur informasi yang heterogen, dan perilaku permainan strategis di antara para pemangku kepentingan. Untuk memperjelas masalah utama dan solusi untuk tantangan-tantangan ini, artikel ini menjelaskan masalah koordinasi sumber daya dan mekanisme interaksi multidimensi, serta menguraikan proses pengambilan keputusan secara keseluruhan dari VPP. Artikel ini juga membahas berbagai tahapan operasional spesifik yang harus diperhatikan oleh VPP dari tiga perspektif yang berbeda: energi, komunikasi, dan pasar. Dari setiap perspektif, setiap bagian pertamanya menganalisis motivasi pengambilan keputusan, kemudian menganalisis kompleksitas model masalah, dan meringkas berbagai metode pemodelan dan teknik penyelesaian, sehingga melengkapi tinjauan komprehensif operasi VPP. Selain itu, artikel ini mengadopsi pendekatan interdisipliner, menggunakan tinjauan literatur dan statistik teknis untuk menangkap kontribusi multifaset dari pengambilan keputusan terhadap operasi VPP. Artikel ini menyelidiki tren yang berkembang dalam teknologi pengambilan keputusan, dianalisis dari perspektif cyber-fisik-sosial. Akhirnya, lintasan masa depan dari isu-isu penelitian dibahas.</p> |
| Zhao H. <i>et al.</i> , 2024 | <p>Dengan terus berkembangnya industri tenaga angin, pembangkit listrik tenaga angin (PLTB) telah menjadi fokus pengembangan sumber daya di dalam industri ini. Pemilihan lokasi, sebagai tahap awal pengembangan WPP, secara langsung berkaitan dengan kelayakan konstruksi dan pendapatan WPP di masa depan. Oleh karena itu, tujuan dari makalah ini adalah untuk mempelajari penentuan lokasi WPP dan membuat kerangka kerja untuk pengambilan keputusan penentuan lokasi. Pertama, sistem indeks evaluasi pemilihan lokasi dibangun dari empat aspek yaitu ekonomi, geografi, lingkungan dan masyarakat dengan menggunakan metode tinjauan literatur dan metode Delphi, dan bobot masing-masing indeks ditentukan secara komprehensif dengan menggabungkan Decision-making Trial and Evaluation Laboratory (DEMATEL) dan metode entropy weight (EW). Kemudian, teori prospek dan metode pemeringkatan solusi kompromi multi-kriteria (VIKOR) diperkenalkan untuk menentukan peringkat opsi potensial dan menentukan lokasi terbaik. Cina digunakan sebagai</p> |

| | |
|---------------------------------|---|
| | <p>studi kasus, dan ketangguhan serta keandalan metodologi ditunjukkan melalui analisis sensitivitas, analisis komparatif, dan analisis eksperimen ablasi. Makalah ini bertujuan untuk memberikan referensi yang berguna untuk penelitian penentuan lokasi WPP. Dalam makalah ini, DEMATEL dan EW digunakan untuk menentukan bobot indikator, yang dapat mengatasi kelemahan dari penugasan tunggal. Teori prospek dan VIKOR digabungkan untuk membangun sebuah model keputusan, yang juga mempertimbangkan sikap pengambil keputusan dan solusi kompromi dari hasil keputusan.</p> |
| Gianto, R. <i>et al.</i> , 2024 | <p>Dalam beberapa tahun terakhir, penerapan pembangkit listrik tenaga angin (PLTB) kecepatan variabel telah menjadi semakin populer dan melampaui PLTB kecepatan tetap. Popularitas ini terutama karena WPP kecepatan variabel jauh lebih efisien dalam menangkap atau mengekstraksi energi angin daripada WPP kecepatan tetap. Karena biayanya yang relatif lebih murah, penggunaan WPP kecepatan variabel berbasis SCIG (Squirrel Cage Induction Generator) saat ini semakin meningkat. WPP jenis ini biasanya dilengkapi dengan konverter elektronika daya untuk mendapatkan jangkauan operasi kecepatan variabel yang lebih luas. Pemodelan komponen sistem tenaga tidak diragukan lagi diperlukan untuk melakukan analisis sistem (termasuk analisis aliran beban). Makalah ini membahas model steady-state WPP kecepatan variabel berbasis SCIG untuk analisis aliran beban sistem distribusi tenaga listrik. Model yang diusulkan dapat digunakan untuk WPP kecepatan variabel berbasis SCIG dengan mode operasi kontrol tegangan. Model ini dikembangkan berdasarkan formula yang menghitung input daya mekanik turbin dan output daya listrik WPP. Makalah ini juga menyajikan studi kasus di mana model yang diusulkan diterapkan pada sistem distribusi tenaga listrik yang representatif.</p> |
| Huang C. <i>et al.</i> , 2024 | <p>Energi angin di Cina didistribusikan secara luas sebagai sumber energi terbarukan. Penelitian ini bertujuan untuk mengatasi masalah yang timbul akibat penggunaan bahan bakar fosil dan memenuhi kebutuhan pembangunan. Metode yang inovatif menggunakan evaluasi fuzzy dalam pemilihan lokasi ladang angin dan turbin angin di pelabuhan laut. Penelitian ini fokus pada lokasi turbin angin di satu set pelabuhan laut. Tujuan utama penelitian ini adalah mengevaluasi potensi pembangkit listrik tenaga angin di berbagai skenario pelabuhan dan mengembangkan metode untuk menilai potensi sumber daya energi angin di ladang angin. Metode dipakai untuk mengidentifikasi batas-batas ladang angin di pelabuhan dan menemukan turbin angin. Database kecepatan angin NASA digunakan untuk menguji metode ini di beberapa pelabuhan di Cina. Hasilnya, potensi kapasitas pembangkit listrik tenaga angin di beberapa pelabuhan tersebut adalah 30,71 GWh, 19,82 GWh, 16,72 GWh, 29,45 GWh, dan 24,42 GWh. Selain itu, dilakukan analisis sensitivitas untuk jenis turbin angin yang berbeda.</p> |
| Egerer U. <i>et al.</i> , 2024 | <p>Kolektor surya merupakan hampir sepertiga dari total biaya pembangkit listrik. Salah satu penyebab utama</p> |

| | |
|--------------------------------------|---|
| | <p>masalah keandalan pada kolektor ini adalah pembebanan cermin, struktur penyangga, dan penggerak yang digerakkan oleh angin. Pentingnya beban angin dalam desain kolektor ditekankan dalam Studi Praktik Terbaik Tenaga Surya Terkonsentrasi NREL serta peta jalan heliostat. Kondisi angin dinamis yang kompleks di lapangan kolektor dan beban yang sesuai pada komponen struktural tidak dipahami dengan baik, tetapi hal ini mempengaruhi masa pakai struktural, kinerja optik, dan biaya kolektor. Sebagai contoh, kecepatan angin dapat menurun di bagian dalam bidang palung sementara turbulensi meningkat dengan efek yang tidak pasti pada beban struktural dinamis. Saat ini, desain struktur kolektor surya sebagian besar mengandalkan data dari terowongan angin. Studi terowongan angin awal mengumpulkan pengetahuan mendasar tentang beban struktural pada kolektor yang disebabkan oleh kondisi angin yang berbeda. Namun, percobaan terowongan angin hanya dapat memodelkan sebagian kecil spektrum energi turbulen dan tidak cukup menangkap efek dinamis yang diamati pada skala besar. Pengukuran skala penuh telah dilakukan pada kolektor surya tunggal atau bidang uji yang lebih kecil dan telah menunjukkan modifikasi angin pada beberapa palung dalam konfigurasi yang terbatas. Lebih lanjut, medan angin di lapangan kolektor telah direkonstruksi melalui simulasi aliran numerik dan respon struktural terhadap angin.</p> |
| <p>Akhtar N. <i>et al.</i>, 2024</p> | <p>Wake yang dihasilkan oleh turbin angin 15 MW dan 5 MW terhadap berbagai faktor di laut, seperti kecepatan angin, energi kinetik turbulen, temperatur, kelembaban spesifik, dan fluks panas permukaan. Kecepatan angin di Laut Utara bervariasi secara spasial dan temporal, dengan angin yang lebih kuat di bagian barat dan selama musim dingin. Simulasi kecepatan angin divalidasi dengan pengamatan sebelumnya yang menyelidiki pengaruh ladang angin terhadap fluks udara-laut dan momentum. Perubahan fluks udara-laut karena adanya ladang angin yang lebih sedikit dan lebih besar menjadi fokus penelitian ini. Dampak ladang angin terlihat hingga ketinggian 600 m di atas permukaan laut. Perubahan kecepatan angin dan energi kinetik turbulen tertinggi terjadi di antara ketinggian hub dan ujung atas blade. Penurunan kecepatan angin maksimum akibat efek wake mencapai sekitar 14-18% di atas ladang angin, sementara peningkatan energi kinetik turbulen sekitar tiga hingga empat kali lipat di area ladang angin.</p> |
| <p>Das, K. <i>et al.</i>, 2023</p> | <p>Perkembangan metodologi optimasi dan penyeimbangan penawaran yang terintegrasi untuk mengontrol penyimpanan baterai secara optimal di HPP pembangkit listrik tenaga angin. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa sistem penyimpanan dapat dikelola dengan beberapa cara dan penjadwalan produksi berdasarkan perkiraan harga pasar adalah yang paling efektif. Strategi penawaran terintegrasi untuk pasar hari depan dan pasar penyeimbang telah dikembangkan. Penerapan strategi tersebut pada akhirnya meningkatkan pendapatan lebih dari 10% dibandingkan dengan kasus tanpa baterai. Pendekatan untuk menjembatani kesenjangan antara jendela penawaran telah dinilai dan</p> |

| | |
|-------------------|---|
| | <p>ditemukan bahwa teknik yang paling efisien relatif terhadap pendapatan dan maksimalisasi masa pakai adalah dengan menilai energi yang tersisa daripada membatasi tujuan SOC pada nilai tertentu. Sebuah analisis telah dilakukan pada sensitivitas hasil relatif terhadap daya baterai dan peringkat energi dan telah ditunjukkan bahwa pertimbangan masa pakai memainkan peran penting ketika memilih kapasitas baterai.</p> |
| Mammadov, N. 2023 | <p>Instalasi listrik tenaga angin harus dioptimalkan untuk menghasilkan energi maksimum pada kecepatan angin yang paling umum terjadi yaitu sebesar 11 m/s. Karena kecepatan angin yang lebih tinggi jarang terjadi, tidaklah efisien secara ekonomi untuk mendesain turbin angin yang dapat beroperasi pada kecepatan angin yang lebih tinggi. Namun, semua turbin angin harus tetap diatur untuk angin kencang agar tidak mengalami kerusakan atau overload pada transmisi daya. Hal ini dapat menyebabkan hancurnya turbin angin, bahaya bagi lingkungan sekitar, serta potensi cedera bagi manusia. Untuk mencegah situasi darurat tersebut, kekuatan struktural dari elemen-elemen yang bergerak dalam instalasi tenaga angin perlu ditingkatkan. Namun, ini juga akan menyebabkan peningkatan berat dan ukuran turbin yang pada akhirnya akan mengurangi efisiensi dan meningkatkan biaya produksi. Selain itu, selama operasi turbin angin, ada kehilangan energi pada generator yang menghasilkan panas. Walaupun efisiensi generator modern cukup tinggi, kerugian absolut tersebut dapat menyebabkan peningkatan suhu elemen struktural yang dapat merusak generator secara bertahap dan mempersingkat umur pakai generator tersebut.</p> |
| Verma, N. 2023 | <p>Dalam penelitian ini, sebuah model matematis dari Pembangkit Listrik Tenaga Angin (WPP) berdasarkan Generator Induksi Ganda Berjalan Bebas (DFIG) dengan kapasitas 100 MW dikembangkan untuk menyelidiki fenomena Sub-Synchronous Resonance (SSR). Mode osilasi yang terjadi dalam sistem, yaitu mode elektrik, elektromekanik, dan torsi, diidentifikasi melalui analisis nilai eigen. Dua kasus diinvestigasi untuk stabilitas sinyal kecil dengan variasi kompensasi dan kecepatan angin. Untuk mengurangi osilasi sub-sinkron yang disebabkan oleh SSR, kontroler Battery Energy Storage System (BESSDCL) dengan sinyal redaman tambahan yang menggunakan data Wide Area Measurement System (WAMS) diusulkan. Kinerja kontroler diuji melalui analisis nilai eigen dan simulasi domain waktu menggunakan MATLAB/Simulink. Perilaku dinamis DFIG dalam hal torsi elektromagnetik, daya aktif, daya reaktif, dan tegangan DC-link juga ditinjau dalam variasi tingkat kompensasi, kecepatan angin, dan gangguan tiga fasa. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan kontroler BESSDCL dengan sinyal redaman tambahan dapat efektif meredam osilasi pada jaringan tenaga terintegrasi angin, terutama setelah peningkatan tingkat kompensasi seri.</p> |
| Yorke F. O., 2023 | <p>Pembangkit listrik di Ghana belum menggunakan energi angin, yang dapat memberikan manfaat seperti diversifikasi energi, ekonomi rendah karbon, dan meningkatkan kapasitas pembangkit listrik. Sebuah</p> |

| | |
|---------------------|--|
| | <p>studi di Adafoah mengevaluasi turbin angin yang cocok untuk pembangkit listrik tenaga angin skala utilitas. Ditemukan bahwa turbin angin sebesar 1 MW hingga 1,5 MW sesuai untuk lokasi tersebut. Pengembangan pembangkit listrik tenaga angin dengan kapasitas 10 MW dapat menghasilkan sekitar 93 GWh listrik per tahun dengan faktor kapasitas 22%. Namun, feed-in tariff yang lebih rendah dari US\$0,15/kWh tidak menguntungkan dan biaya energi yang diratakan dari pembangkit listrik tenaga angin adalah sekitar US\$0,143/kWh. Penggunaan energi angin juga dapat mengurangi emisi CO₂ sebesar 33% dibandingkan dengan jaringan listrik. Analisis sensitivitas menunjukkan bahwa indikator keuangan proyek ini tahan terhadap subsidi modal, inflasi, tingkat diskonto, dan variasi kecepatan angin. Studi ini mengakui potensi pengembangan energi angin di Adafoah dan merekomendasikan pemanfaatan lebih lanjut dengan insentif yang tepat.</p> |
| Yin X., 2023 | <p>Strategi kontrol deep reinforcement learning (DRL) untuk sistem tenaga angin lepas pantai dan fotovoltaik (PV) yang terintegrasi untuk meningkatkan efisiensi pembangkit listrik sekaligus meredam osilasi. Turbin angin lepas pantai berkecepatan variabel (OWT) dengan kontrol torsi listrik digunakan dalam sistem tenaga lepas pantai terintegrasi yang model dinamikanya dirinci. Dengan mempertimbangkan sistem kontrol sebagai proses keputusan Markov yang dapat diamati secara parsial, algoritma DRL bebas model arsitektur aktor-kritik, yaitu, gradien kebijakan deterministik yang dalam, diadopsi dan diimplementasikan untuk mengeksplorasi dan mempelajari kebijakan kontrol multi-tujuan yang optimal. Potensi dan efektivitas sistem tenaga terintegrasi dievaluasi. Hasilnya menunjukkan bahwa OWT dapat merespon dengan cepat terhadap perubahan mendadak dari kondisi angin yang masuk untuk memaksimalkan total pembangkit listrik. Osilasi yang signifikan pada output daya keseluruhan juga dapat ditekan dengan baik dengan mengatur torsi generator, yang selanjutnya menunjukkan bahwa operasi yang saling melengkapi antara tenaga angin lepas pantai dan PV dapat dicapai.</p> |
| Nomandela, S., 2023 | <p>Pemodelan pembangkit listrik tenaga angin (PLTB) yang lengkap, aliran beban pembangkit listrik tenaga angin dilakukan dengan tujuan uji kepatuhan jaringan. Dalam pengujian ini, besaran mekanis dan listrik dipantau saat pembangkit listrik tenaga angin dioperasikan pada kondisi tunak. Dalam hal uji kepatuhan jaringan, besaran listrik dipantau pada terminal pengirim dan terminal penerima, karena model WPP terdiri dari sistem saluran transmisi. Hasilnya menunjukkan bahwa operasi WPP sesuai dengan kode jaringan, dan dapat diintegrasikan ke dalam jaringan listrik transmisi untuk melakukan studi lain seperti studi stabilitas tegangan atau frekuensi. Selain itu, WPP dapat digunakan oleh para peneliti lain untuk menguji berbagai metode kontrol untuk WPP.</p> |
| Pontes, L. 2023 | <p>Penyisipan sumber-sumber terbarukan untuk mendiversifikasi matriks energi adalah salah satu</p> |

| | |
|-------------------------------------|---|
| | <p>alternatif untuk transisi energi. Dalam hal ini, Brasil merupakan salah satu produsen energi terbarukan terbesar di dunia, terutama dalam pembangkit listrik tenaga angin. Namun, dampak dari mengintegrasikan sumber-sumber intermiten ke dalam sistem tergantung pada tingkat penetrasi mereka, yang menyebabkan masalah pada jaringan listrik. Untuk mengevaluasi skenario ini, artikel ini bertujuan untuk menyelidiki masalah kualitas daya yang dihasilkan oleh turbin angin sehubungan dengan sistem kelistrikan dan bagaimana sistem penyimpanan energi baterai (BESS) memecahkan atau mengurangi gangguan ini dalam jaringan. Dengan mengetahui dampak dari variabilitas daya pembangkitan yang tinggi, fokus dari pekerjaan ini adalah penerapan perataan daya. Namun, hasil yang disajikan untuk lima aplikasi (koreksi faktor, kontrol tegangan, perataan faktor daya, kontrol frekuensi dan pergeseran waktu) yang dapat dilakukan di ladang angin yang diteliti. Artikel ini menyajikan BESS nyata, yang memiliki kapasitas 1 MW/1,29 MWh, terhubung secara paralel dengan sekelompok turbin angin yang menyediakan daya sekitar 50,4 MW yang berlokasi di Brasil. Selain menyajikan simulasi sistem dalam perangkat lunak HOMER Pro, studi ini memvalidasi keefektifan BESS ini dengan menyajikan data operasi nyata untuk setiap aplikasi.</p> |
| Eikeland O. F., 2022 | <p>Pasar energi sangat bergantung pada kemampuan memprediksi permintaan dan menjaga keseimbangan dalam pembangkitan listrik. Kontrak dan lelang energi terbarukan di pasar listrik yang diliberalisasi bergantung pada prakiraan pembangkit listrik di masa depan. Namun, sifat terbarukan dari sumber energi yang tidak konsisten meningkatkan ketidakpastian dalam pembangkitan listrik di masa depan. Oleh karena itu, penelitian ini menggunakan metode deep learning untuk membuat prakiraan probabilistik dari pembangkit listrik tenaga angin di Norwegia Utara. Dalam penelitian ini, penambahan data historis cuaca dan prediksi cuaca numerik sebagai variabel eksogen memiliki dampak positif terhadap akurasi prakiraan, dengan peningkatan akurasi sebesar 37%. Penelitian ini juga menemukan bahwa menggunakan hanya prediksi cuaca atau hanya cuaca yang diukur sebagai variabel eksogen menghasilkan kinerja yang lebih buruk. Dengan demikian, penelitian ini menunjukkan pentingnya memahami variabel yang harus dimasukkan dalam membuat prakiraan yang akurat untuk pasar energi.</p> |
| Gontijo, G. F. <i>et al.</i> , 2022 | <p>Pembangkit listrik tenaga angin lepas pantai (OWPP) besar yang dipasang di lokasi yang jauh dari garis pantai dapat menggunakan sistem transmisi arus searah tegangan tinggi (HVDC) berbasis konverter bertingkat modular (MMC) untuk mentransmisikan energi ke jaringan listrik di darat. Namun, interaksi yang tidak diinginkan dapat terjadi antara stasiun HVDC berbasis MMC, konverter turbin angin, dan elemen pasif jaringan listrik lepas pantai. Untuk memastikan operasi OWPP yang aman dan andal, analisis sinyal kecil dilakukan untuk memprediksi situasi yang tidak stabil dan akar penyebabnya. Dalam penelitian ini, penulis</p> |

| | |
|---|--|
| | <p>mengembangkan model ruang keadaan OWPP yang mempertimbangkan dinamika internal konverter. Dengan model ini, penilaian stabilitas dilakukan untuk mengidentifikasi kontributor utama dari mode tidak stabil yang muncul akibat interaksi frekuensi rendah yang tidak diinginkan pada jaringan lepas pantai. Penelitian ini penting karena jarang dieksplorasi sebelumnya dalam literatur.</p> |
| <p>Zhao Y. <i>et al.</i> 2022</p> | <p>Weather Research and Forecast (WRF) dengan metode pemodelan Wind Farm Parameterization (WFP) untuk melakukan simulasi prakiraan tenaga angin jarak pendek selama 48 jam. Simulasi dilakukan pada ladang angin lepas pantai yang memiliki 100 turbin di pantai timur Laut Kuning Cina. Metode perampangan multi-grid horizontal digunakan dan hasil simulasi divalidasi menggunakan data lapangan dari sistem Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA). Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode perampangan jaringan horisontal dapat meningkatkan akurasi kecepatan angin dan prakiraan daya angin. Studi juga mengevaluasi aerodinamika pembangkit listrik tenaga angin, seperti efek wake turbin dan efek pantai laut-daratan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa model WRF + WFP masih belum siap untuk prakiraan operasi produksi, tetapi dapat membantu dalam mengevaluasi aerodinamika pembangkit listrik tenaga angin dengan efek wake dan mikrometeorologi wilayah interkoneksi laut-darat. Penelitian ini menjadi dasar untuk studi interaksi turbin dengan wake di masa depan.</p> |
| <p>Chetouani, E. <i>et al.</i>, 2021</p> | <p>Penelitian ini menerapkan kontroler Backstepping yang optimal untuk menguji konversi sistem energi angin (WECS) berdasarkan generator induktor yang diumpankan dua kali. Rotor dan stator terhubung melalui konverter back-to-back, dengan stator juga terhubung langsung ke jaringan. Simulasi dilakukan dengan memodelkan seluruh rantai energi angin dan menggunakan kontrol berorientasi lapangan tidak langsung berdasarkan kontroler PI tradisional. Setelah itu, dilakukan pengaturan manual pada kontroler Backstepping tradisional dengan parameter tertentu. Akhirnya, pengontrol Backstepping yang optimal diusulkan dengan menggunakan optimasi particle swarm optimization untuk mengoptimalkan parameter. Kestabilan sistem dicapai dengan kontrol Backstepping berdasarkan fungsi Lyapunov. Hasil simulasi menunjukkan bahwa strategi yang diusulkan memiliki respon transien yang lebih cepat, penurunan kesalahan pelacakan yang signifikan, dan peningkatan stabilitas dan ketahanan sistem. Metode ini juga memiliki keunggulan dalam menghindari overshoot dari tegangan DC link.</p> |
| <p>Hermanto, Y. dan A. Kiswanto, 2021</p> | <p>Setelah melakukan pengukuran dan pengujian terhadap alat yang dibuat, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut: Berdasarkan hasil pengukuran dan pengujian pada inverter. Tegangan input inverter menggunakan tegangan 12 volt. Dapat di step up hingga 223 volt tanpa beban, dan setelah diberi beban pada outputnya, kapasitas daya menjadi 220 V. Hasil pengujian yang dilakukan dengan pengukuran selama 2 jam pada beban</p> |

| | |
|---------------------------------|--|
| | setrika, kipas angin, televisi, motor AC 1 fasa, setrika solder, dispenser, charger laptop, lampu pijar, dan kulkas dengan menggunakan sensor PZEM 004T menghasilkan error 0,28 secara berurutan % - 0,3%. Dan Pengiriman pembacaan dari alat monitoring ini ke server membutuhkan waktu sekitar 10-15 detik. |
| Kabak, M. dan G. Taşkınöz, 2020 | Energi menjadi sangat penting dalam kehidupan kita karena populasi yang terus berkembang dan permintaan energi yang semakin meningkat. Untuk mengatasi hal ini, manusia mencari sumber energi baru selain dari sumber fosil yang semakin langka. Produksi energi tidak hanya untuk keuntungan, tetapi juga memperhatikan dampaknya pada lingkungan dan kelangsungan energi. Oleh karena itu, trend saat ini adalah menuju sumber energi yang berkelanjutan, seperti energi angin. Energi angin dianggap sebagai sumber energi terbarukan yang terus berkembang dan cocok untuk produksi energi listrik. Penelitian ini fokus pada pemilihan lokasi pembangkit listrik angin dalam fase pendirian. Proses pemilihan lokasi menggunakan ArcGIS dan model pemrograman bilangan bulat. Terdapat 11 kriteria yang ditetapkan dan empat lokasi alternatif di provinsi Konya. Pemilihan lokasi didasarkan pada minimalisasi biaya dalam memenuhi kriteria yang telah ditentukan. Berdasarkan model yang digunakan, diputuskan untuk memasang 65 turbin angin. |
| Tasneem Z. <i>et al.</i> , 2020 | Energi angin memiliki potensi besar dalam pembangkit listrik karena bebas polusi dan sumber daya angin yang melimpah di seluruh dunia. Turbin angin dapat dipasang di berbagai area seperti atap gedung, rel kereta api, area di sekitar gedung bertingkat, dan jalan kota. Namun, memanfaatkan energi angin dari area ini memiliki tantangan seperti sifat dramatis dan turbulensi di permukaan kota. Makalah ini membahas tentang status teknologi ladang angin perkotaan saat ini serta aspek komersial dan lingkungan yang terkait. Penelitian tentang pemetaan angin dan desain turbin menjadi hal yang sangat penting agar ladang angin perkotaan bisa menjadi pilihan yang dapat diandalkan dan layak untuk pembangkit listrik yang terdesentralisasi. |

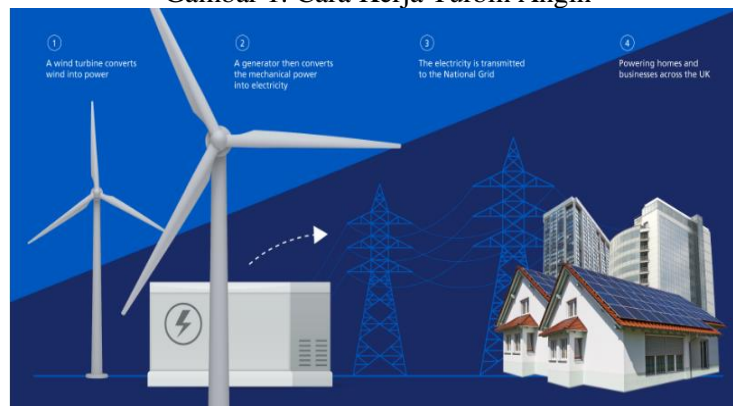
HASIL DAN PEMBAHASAN

Jaringan Syaraf Tiruan (JST) dengan dua model yang mengintegrasikan prediksi produksi energy angin. Penelitian tersebut menggunakan data dari 'turbin pusat' yang dipilih untuk memperkirakan produksi energi angin dengan menggabungkan algoritma pengelompokan data tunggal dan model yang dapat ditanggguhkan. Pendekatan tersebut memperkenalkan aspek baru yang memajukan bidang studi ini, termasuk penggunaan data yang efisien melalui turbin centroid. Pendekatan tersebut menawarkan solusi yang praktis untuk manajemen data di ladang angin besar.

Operasi Virtual Power Plant atau VPP dianalisis dari tiga sudut pandang yaitu energi, komunikasi, dan pasar. Jika berdasarkan segi energi, VPP harus mengelola sumber daya energi yang terdistribusi berskala besar dengan karakteristiknya yang stokastik. Jika berdasarkan segi komunikasi, VPP menghadapi kompleksitas dalam struktur informasi yang heterogen. Sementara dari segi pasar, VPP harus mempertimbangkan perilaku permainan strategis di antara orang-orang yang memiliki kepentingan. Peninjauan

komprehensif dilakukan dengan tujuan untuk memahami kompleksitas masalah model dan berbagai metode pemodelan serta teknik penyelesaian yang diperlukan dalam pengoperasian VPP.

Gambar 1. Cara Kerja Turbin Angin



(Sumber: edfenergy.com)

Sebuah penelitian di Cina menggunakan Decision-making Trial and Evaluation Laboratory (DEMATEL) dan metode entropy weight (EW) untuk menentukan peringkat opsi potensial dan lokasi terbaik untuk pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Angin (WPP) di Cina. Metodologi tersebut memungkinkan dalam menentukan lokasi yang optimal dengan mempertimbangkan berbagai aspek yang relevan dalam pengembangan WPP. Metode perampingan jaringan horizontal meningkatkan akurasi kecepatan angin dan prakiraan daya angin. Studi ini juga mengevaluasi aerodinamika pembangkit listrik tenaga angin, seperti efek wake turbin dan efek pantai laut-daratan.

Penerapan pembangkit listrik tenaga angin (PLTB) dengan kecepatan variabel telah menjadi semakin populer dan melampaui PLTB dengan kecepatan tetap. Model konstanta tegangan dari Pembangkit Listrik Tenaga Angin (PLTB) dengan kecepatan variabel berbasis SCIG (Squirrel Cage Induction Generator) untuk analisis aliran hambatan membahas tentang penerapan PLTB kecepatan variabel berbasis SCIG yang semakin populer dalam mengekstraksi energi angin dengan efisien. Model tersebut dikembangkan untuk analisis aliran beban sistem distribusi energi listrik dengan mode operasi kontrol tegangan.

Penelitian di Cina tentang lokasi turbin angin dan metodologi evaluasi sumber daya energi angin di pelabuhan bertujuan untuk mengevaluasi potensi pembangkit listrik tenaga angin di berbagai pelabuhan laut. Metode inovatif menggunakan evaluasi fuzzy dalam pemilihan lokasi ladang angin dan turbin angin di pelabuhan laut. Penelitian ini berfokus pada lokasi turbin angin di satu pelabuhan laut dan mengembangkan metode untuk menilai potensi sumber daya energi angin di ladang angin. Metode ini digunakan untuk mengidentifikasi batas-batas ladang angin di pelabuhan dan menemukan turbin angin. Hasil penelitian menunjukkan potensi kapasitas pembangkit listrik tenaga angin yang signifikan di beberapa pelabuhan di Cina.

Pengukuran data hambatan angin dan struktural pada kolektor surya berbentuk parabola di sebuah pembangkit listrik yang beroperasi. Penelitian ini menyoroti betapa pentingnya pemahaman pada hambatan angin dalam desain kolektor surya untuk mengatasi masalah keandalan pada kolektor tersebut. Faktor-faktor seperti pembebanan cermin, struktur penyangga, dan penggerak yang digerakkan oleh angin menjadi fokus utama dalam penelitian ini.

Studi yang dilakukan oleh Akhtar, Geyer, dan Schrum pada tahun 2024 menyoroti bahwa penggunaan turbin angin yang lebih besar dapat menjadi solusi untuk mengurangi dampak lingkungan. Turbin angin yang lebih besar dapat meningkatkan efisiensi dalam

mengekstraksi energi angin, sehingga dapat mengurangi dampak lingkungan yang dihasilkan oleh pembangkit listrik konvensional. Turbin angin yang lebih besar juga dapat membantu dalam mengurangi jejak karbon dan emisi gas rumah kaca, serta mengurangi penggunaan bahan bakar fosil.

Penelitian tentang Lokasi Turbin Angin dan Metodologi Evaluasi Sumber Daya Energi Angin di Skenario Pelabuhan bertujuan untuk mengevaluasi potensi pembangkit listrik tenaga angin di berbagai skenario pelabuhan laut. Metode inovatif menggunakan evaluasi fuzzy dalam pemilihan lokasi ladang angin dan turbin angin di pelabuhan laut. Penelitian tersebut fokus pada lokasi turbin angin di satu set pelabuhan laut dan mengembangkan metode untuk menilai potensi sumber daya energi angin di ladang angin. Metode ini digunakan untuk mengidentifikasi batas-batas ladang angin di pelabuhan dan menemukan turbin angin. Hasil penelitian menunjukkan potensi kapasitas pembangkit listrik tenaga angin yang signifikan di beberapa pelabuhan di Cina.

Pengoperasian baterai yang optimal untuk pembangkit listrik tenaga angin hibrida melibatkan pengembangan metodologi optimal dan menyeimbangkan pasokan terintegrasi untuk mengontrol penyimpanan baterai secara optimal pembangkit listrik tenaga angin. Hasil penelitian menunjukkan pengelolaan sistem penyimpanan berdasarkan perkiraan harga pasar adalah pendekatan yang efektif. Strategi penawaran terpadu untuk pasar sehari-hari dan pasar penyeimbang telah dikembangkan, menghasilkan peningkatan pendapatan lebih dari 10% dibandingkan dengan casing tanpa baterai. Pertimbangan kapasitas baterai dan peringkat energi sangat penting, dengan penilaian energi yang tersisa menjadi lebih efisien dibandingkan membatasi sasaran SOC.

Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) yang dilengkapi dengan teknologi sistem penyimpanan energi baterai atau Battery Energy Storage System (BESS) diterapkan dengan perataan daya pada ladang angin di Brasil dilakukan dengan kapasitas 1 MW/1,29 MWh yang terhubung secara paralel dengan turbin angin sebesar 50,4 MW. BESS tersebut digunakan sebagai koreksi faktor daya, kontrol tegangan, dan kontrol frekuensi, serta pergeseran waktu di ladang angin tersebut.

Gambar 2. PLTB dengan system teknologi BESS (Battery Energy Storage System)



(Sumber: agreate.com)

Penelitian yang dilakukan di Norwegia Utara yaitu menggunakan metode deep learning untuk memprakiraan probabilistik dari pembangkit listrik tenaga angin. Penambahan data historis cuaca dan prediksi cuaca numerik sebagai variabel eksogen meningkatkan akurasi prakiraan sebesar 37%. Metode tersebut menunjukkan betapa pentingnya memahami variabel yang harus dimasukkan ketika membuat prakiraan yang akurat untuk pasar energi.

Proses pemilihan lokasi untuk memasang 65 turbin angin di provinsi Konya dilakukan dengan memanfaatkan ArcGIS dan model pemrograman bilangan bulat. Ada 11 kriteria yang ditetapkan dan empat lokasi alternative yang dipertimbangkan. Pemilihan

lokasi tersebut didasarkan untuk minimalisasi biaya dalam memenuhi kriteria yang telah ditetapkan. Setelah analisis menggunakan model yang digunakan, maka diputuskan untuk memasang 65 turbin angin di lokasi yang telah terpilih.

Algoritma DRL bebas model arsitektur aktor-kritik digunakan untuk mengeksplorasi dan mempelajari kebijakan kontrol multi-tujuan yang optimal pada sistem energi terintegrasi. Penelitian menunjukkan operasi yang saling melengkapi antara tenaga angin lepas pantai dan PV dapat diselesaikan melalui penggunaan algoritma ini. Hasil pengukuran dan pengujian inverter menunjukkan tegangan input dapat di step up hingga 223 V tanpa hambatan dan menjadi 220 V setelah diberi hambatan. Pengiriman pembacaan dari alat monitoring ke server membutuhkan waktu, yaitu sekitar 10-15 detik.

KESIMPULAN

Hasil review jurnal dari beberapa penelitian terkait dengan cara kerja pembangkit listrik tenaga angin yakni pada umumnya menggunakan generator. Energi mekanik lalu menggerakkan mesin generator sehingga dapat menghasilkan arus listrik yang merupakan hasil akhirnya. Saat kincir berputar, generator akan otomatis dapat menghasilkan aliran energi listrik. Penggunaan energi alternatif angin ini dapat mencegah polusi yang dihasilkan oleh penggunaan bahan bakar minyak yang menyebabkan pencemaran terbesar yang terdapat di dunia menjadi sebuah gas buangan dan emisi dalam bahan bakar minyak yang untuk mengatasi berbagai permasalahan menjadi energi alternatif angin mempunyai ketersediaan di bumi menjadi harapan dan kelanjutannya. Namun selain dengan menggunakan turbin, banyak negara-negara tetangga Indonesia yang memanfaatkan teknologi lain. Mereka terus melakukan penelitian dan bereksperimen untuk terus memanfaatkan energi alternatif angin.

DAFTAR PUSTAKA

- Amin, M. Z. R., dan Kaloko, B. S. (2024). Sistem Kontrol Sudut Blade Turbin Savonius dengan Metode Regresi Linier Berganda untuk Optimasi Pembangkit Listrik Tenaga Angin. *Techné : Jurnal Ilmiah Elektroteknika*, 23(1), 11–20. <https://doi.org/10.31358/techne.v23i1.378>.
- Akhtar N., B. Geyer, C. Schrum. (2024). Larger wind turbines as a solution to reduce environmental impacts. *Journals Scientific Reports*. 14(6608). <https://doi.org/10.1038/s41598-024-56731-w>.
- Bektiarso, S., I. Mahardika, N. Anggraeni, R. Kinasih, dan N. Jannah. (2023). Kemampuan Alat Kincir Angin Sederhana Dalam Menghasilkan Listrik. *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan*, 9(3): 488-493. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7633132>.
- Chetouani, E., Y Errami, A. Obadi, dan S. Sahnoun. (2021). Design of Optimal Backstepping Control for a Wind Power Plant System Using the Adaptive Weighted Particle Swarm Optimization. *International Journal of Intelligent Engineering and Systems*. 14(6): 2021
- Das K., A. L. T. P. Grapperon, P. E. Sorensen, dan A. D. Hansen. (2023). *TechRxiv*. 1-7. <https://doi.org/10.36227/techrxiv.11450217.v1>.
- Egerer U., S. Dana, D Jsager, G. Xia, B. J. Stanislawski, dan S. Yellapantula. (2024). Wind and structural loads data measured on parabolic trough solar collectors at an operational power plant. *Journals Nature*. 11(98): 1097. <https://doi.org/10.1038/s41597-023-02896-4>
- Eikeland, O. F., F. D. Hovem, T. E. Olsen, . Chiesa, dan F. M. Bianchi. (2022). Probabilistic forecasts of wind power generation in regions with complex topography using deep learning methods: An Arctic case. *Journals Energy Conversion and Management: X*. 15(2022):1-13. <https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2022.100239>.
- Famoso, F., L. M. Oliveri, S. Brusca, dan F. Chiacchio. (2024). A Dependability Neural Network Approach for Short-Term Production Estimation of a Wind Power Plant. *Journals Energies*. 17(7): 1-24. <https://doi.org/10.3390/en17071627>.
- Ghazali, D., dan Stefanie, A. (2024). Perancangan Sistem Pembangkit Energi Angin Menggunakan

- Generator 12 V Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Bayu. *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan*, 10(1), 265-270. <https://jurnal.peneliti.net/index.php/JIWP/article/view/60333>
- Gao, H., T. Jin, c. Feng, C. Li, Q. Chen, dan C. Kang. (2024). Review of virtual power plant operations: Resource coordination and multidimensional interaction. *Jurnal Applied Energy*. 357(2024): 1-20. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2023.122284>
- Gianto, R. (2024). Model Tegangan Konstan Pembangkit Listrik Tenaga Angin Kecepatan Variabel Berbasis SCIG untuk Analisis Aliran Beban. *Jurnal Ilmu Pengetahuan Teoritis dan Terapan Eropa*, 2 (1), 694-700. [https://doi.org/10.59324/ejtas.2024.2\(1\).61](https://doi.org/10.59324/ejtas.2024.2(1).61)
- Gontijo, G. F., M. K. Bakhshizadeh, L. H. Kocewiak, dan R. Teodoroscu. (2022). State Space Modeling of an Offshore Wind Power Plant With an MMC-HVDC Connection for an Eigenvalue-Based Stability Analysis. *IEEE POWER & ENERGY SOCIETY SECTION*. 10(2022): 82844-82869. <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>
- Hasibuan, A., W. V. Siregar, A. Setiawan, (2021). Pemanfaatan Energi Bayu Sebagai Sumber Energi Listrik Untuk Penerangan Pada Perahu Nelayan. *Jurnal Teknik Elektro*, 3(2), 85–88.
- Huang C., C. Liu, M. Zhong, H. Sun, T. Gao, dan Y. Zhang. (2024). Research on Wind Turbine Location and Wind Energy Resource Evaluation Methodology in Port Scenarios. *Journals Sustainability*. 16(3): 1074; <https://doi.org/10.3390/su16031074>
- Hermanto Y. dan A. Kiswanto Prototype Monitoring Electricity System 220v of Wind Power Plant (PLTB) based on the Internet of Things. *Iota*, 2021, ISSN 2774-4353, Vol. 01, 03: 133-145. <https://doi.org/10.31763/iota.v469>.
- Kinasih, R. E. (2024). Studi Literatur: Analisis Pengaruh Perubahan Kecepatan Angin Pada (Plta) Pembangkit Listrik Tenaga Angin. *Phydagogic: Jurnal Fisika Dan Pembelajarannya*. 6(2): 109-116. <https://doi.org/10.31605/phy.v6i2.3332>.
- Kabak M. dan G. Taşkınöz. Determination of the installation sites of wind power plants with spatial analysis: A model proposal. *SIGMA*. 2020. 38(1): 441-57. https://dergipark.org.tr/en/pub/sigma/issue/65119/1003377#article_cite
- Mammadov N. (2023). Analysis of systems and methods of emergency braking of wind turbines. *International Science Journal of Engineering & Agriculture*. 2(2): 147-152. <https://doi.org/10.46299/j.isjea.20230202.14>
- Nomandela, S., M. E. S. Mnguni, dan A. K. Raji. (2023). Modeling and Simulation of a Large-Scale Wind Power Plant Considering Grid Code Requirements. *Journals Energies*. 16(6): 2897. <https://doi.org/10.3390/en16062897>.
- Pontes, L., T. Costa, A. Souza, N. Dantas, A. Vasconcelos, G. Rissi, R. Dias, M. A. Mohamed, P. Siano, dan M. Marinho. (2023). Operational Data Analysis of a Battery Energy Storage System to Support Wind Energy Generation. *Journals Energies*. 16(3):1-20. <https://doi.org/10.3390/en16031468>.
- Triandini, E., S. Jayanatha, A. Indrawan, G. W. Putra, dan B. Iswara (2019). Metode Systematic Literature Review untuk Identifikasi Platform dan Metode Pengembangan Sistem Informasi di Indonesia. *Indonesian Journal of Information Systems (IJIS)*. 1(2): 63-77. 10.24002/ijis.v1i2.1916.
- Tasneem Z., A. A. Noman , S. K. Das , D. K. Saha , Md. R. Islam , Md. F. Ali , Md. F. R Badal , Md. H. Ahamed, S. I. Mooyen, dan F. Alam. (2020). An analytical review on the evaluation of wind resource and wind turbine for urban application: Prospect and challenges. *Developments in the Built Environment*. 4(2020): 100033. <https://doi.org/10.1016/j.dibe.2020.100033>
- Verma, N., N. Kumar, dan R. Kumar. (2023). Battery energy storage-based system damping controller for alleviating sub-synchronous oscillations in a DFIG-based wind power plant. *Protection and Control of Modern Power Systems*. 8(32 <https://doi.org/10.1186/s41601-023-00309-7>.
- Yorke F. O., T. F. Adu, dan L. Atepor. (2023) Techno-economic assessment of a utility-scale wind power plant in Ghana. *Energy Conversion and Management: X*. 18(4):100375. <https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2023.100375>
- Yin, X. dan M. Lei. (2023). Jointly improving energy efficiency and smoothing power oscillations of integrated offshore wind and photovoltaic power: a deep reinforcement learning approach.

- Jurnal Protection and Control of Modern Power Systems. 8(25): 1-11.
<https://doi.org/10.1186/s41601-023-00298-7>.
- Zhao, Y., Y. Xue, S. GAO, J. Wang, Q. Cao, T. Sun, dan Y. Liu. (2022). Computation and Analysis of an Offshore Wind Power Forecast: Towards a Better Assessment of Offshore Wind Power Plant Aerodynamics. Journals Energies. 15(12): 1-17.
<https://doi.org/10.3390/en15124223> .
- Zhao, H., S. Wang, dan C. Lu. (2024). A study on site selection of wind power plant based on prospect theory and VIKOR: a case study in China. Jurnal Kybernetes. ISSN: 0368-492X.
<https://doi.org/10.1108/K-01-2024-0022>.